

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



| | | |
|--|---|---|
| (51) Internationale Patentklassifikation: H04L 27/26, 5/06 | A1 | (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/41458 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 19. December 1996 (19.12.96) |
| (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/02209 (22) Internationales Anmeldedatum: 23. Mai 1996 (23.05.96) (30) Prioritätsdaten: 195 20 353.4 7. Juni 1995 (07.06.95) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): DEUTSCHE THOMSON-BRANDT GMBH [DE/DE]; Hermann-Schwer-Strasse 3, D-78048 Villingen- Schwenningen (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MUSCHALLIK, Claus [DE/DE]; Brunnenstrasse 28, D-78050 Villingen- Schwenningen (DE). ARMBRUSTER, Veit [DE/DE]; Engeleweg 5, D-78112 St. Georgen (DE). | (81) Bestimmungsstaaten: BR, CN, JP, KR, MX, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen</i> <i>Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen</i> <i>eintreffen.</i> | |

(54) Title: METHOD AND CIRCUIT ARRANGEMENT FOR IMPROVING CARRIER SEPARATION FOR THE TRANSMISSION OF OFDM SIGNALS

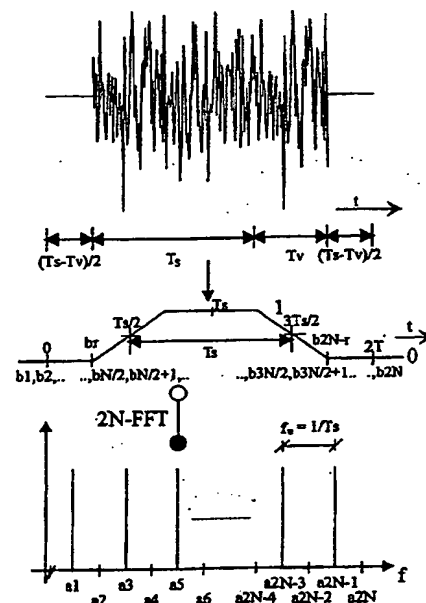
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR VERBESSERUNG DER TRÄGERTRENNUNG BEI DER ÜBERTRAGUNG VON OFDM SIGNALEN

(57) Abstract

In the OFDM methods, a plurality of modulated carriers are transmitted by frequency multiplexing, which results in an almost rectangular spectrum owing to the high number of carriers. In order to separate the carriers from one another again in the receiver, a fast Fourier transform is carried out such that each carrier can be cleanly separated from the others when the carriers are exactly orthogonal relative to one another. However, the orthogonality of the carriers can be disturbed by various causes. Furthermore, in the receiver the useful signal has to be separated from the undesired neighbouring channel signals by analog or digital filtration. In order to improve carrier and channel separation, the selectivity of FFT filtration can be increased by increasing the number of FFT components. However, this normally leads to an undesirably high increase in computing steps. The claimed configuration of the time window used within the context of the FFT and oversampling before the FFT render the calculation of some of the coefficients superfluous.

(57) Zusammenfassung

Bei dem OFDM-Verfahren werden eine Vielzahl modulierter Träger im Frequenzmultiplex übertragen, wobei sich durch die hohe Trägeranzahl ein Spektrum mit einer fast rechteckigen Form ergibt. Um die Träger im Empfänger wieder voneinander zu trennen, wird eine Fast-Fourier-Transformation durchgeführt, wobei jeder Träger dann sauber von den anderen getrennt werden kann, wenn die Träger exakt orthogonal zueinander sind. Die Trägerorthogonalität kann jedoch durch verschiedene Ursachen gestört werden. Ferner muß im Empfänger das Nutzsignal von den unerwünschten Nachbarkanalssignalen durch eine analoge oder digitale Filterung getrennt werden. Zur Verbesserung der Träger- und Kanaltrennung kann die Selektivität der FFT-Filterung durch eine Vergrößerung der Anzahl der FFT-Komponenten erhöht werden. Dieses führt jedoch normalerweise zu einer unerwünscht starken Zunahme des Rechenaufwandes. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des im Rahmen der FFT verwendeten Zeitfensters sowie eine Überabtastung vor der FFT wird es jedoch ermöglicht, auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | |
|----|--------------------------------|----|-----------------------------------|----|--------------------------------|
| AM | Armenien | GB | Vereinigtes Königreich | MX | Mexiko |
| AT | Österreich | GE | Georgien | NE | Niger |
| AU | Australien | GN | Guinea | NL | Niederlande |
| BB | Barbados | GR | Griechenland | NO | Norwegen |
| BE | Belgien | HU | Ungarn | NZ | Neuseeland |
| BF | Burkina Faso | IE | Irland | PL | Polen |
| BG | Bulgarien | IT | Italien | PT | Portugal |
| BJ | Benin | JP | Japan | RO | Rumänien |
| BR | Brasilien | KE | Kenya | RU | Russische Föderation |
| BY | Belarus | KG | Kirgisistan | SD | Sudan |
| CA | Kanada | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | SE | Schweden |
| CF | Zentrale Afrikanische Republik | KR | Republik Korea | SG | Singapur |
| CG | Kongo | KZ | Kasachstan | SI | Slowenien |
| CH | Schweiz | LI | Liechtenstein | SK | Slowakei |
| CI | Côte d'Ivoire | LK | Sri Lanka | SN | Senegal |
| CM | Kamerun | LR | Liberia | SZ | Swasiland |
| CN | China | LK | Litauen | TD | Tschad |
| CS | Tschechoslowakei | LU | Luxemburg | TG | Togo |
| CZ | Tschechische Republik | LV | Lettland | TJ | Tadschikistan |
| DE | Deutschland | MC | Monaco | TT | Trinidad und Tobago |
| DK | Dänemark | MD | Republik Moldau | UA | Ukraine |
| EE | Estland | MG | Madagaskar | UG | Uganda |
| ES | Spanien | ML | Mali | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| FI | Finnland | MN | Mongolei | UZ | Usbekistan |
| FR | Frankreich | MR | Mauretanien | VN | Vietnam |
| GA | Gabon | MW | Malawi | | |

**VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR VERBESSERUNG DER TRÄGERTRENNUNG
BEI DER ÜBERTRAGUNG VON OFDM SIGNALEN.**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen.

Stand der Technik

Bei dem OFDM-Verfahren (Orthogonally Frequency Division Multiplexing) wird nicht ein Träger für jedes Programm verwendet, sondern eine Vielzahl modulierter Träger, die im Frequenzmultiplex übertragen werden. Die Modulationsart kann z. B. eine QPSK, eine 64QAM oder auch eine andere digitale Modulationsart sein. Die Frequenzen der N Träger weisen äquidistante Abstände f_{tr} auf und werden derart gewählt, daß sie ein orthogonales Funktionensystem bilden. Durch die hohe Trägeranzahl ergibt sich hierbei ein Spektrum mit einer fast rechteckigen Form, sodaß das OFDM-Signal im benutzten Band eine konstante Leistungsdichte aufweist, ähnlich wie beim bandbegrenzten weißen Rauschen.

Die Programmsignale werden in Symbole der Dauer $T_s = 1/f_{tr}$ zerlegt und auf die N verschiedenen Trägerfrequenzen verteilt. Hierbei wird jedem OFDM-Symbol ein Guard-Intervall der Länge T_g zugewiesen, in dem ein Teil des Symbols wiederholt wird, um das Signal gegen Echos unempfindlich zu machen.

Um die Träger im Empfänger wieder voneinander zu trennen, wird eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) der Länge N durchgeführt, wobei jeder Träger dann sauber von den anderen getrennt werden kann, wenn die Träger exakt orthogonal zueinander sind.

Die Trägerorthogonalität kann jedoch durch verschiedene Ursachen gestört werden. So kann eine Frequenzabweichung der Träger oder eine Verbreiterung der Träger durch Phasenrauschen erfolgen. Die Orthogonalität wird auch gestört, falls Frequenzanteile vorhanden sind, die zwischen den Trägern liegen. Dieses kann durch weißes Rauschen oder eine harmonische Störung, deren

2

Frequenz nicht mit einer Trägerfrequenz übereinstimmt, verursacht werden.

Ferner muß im Empfänger das Nutzsignal von den unerwünschten Nachbarkanalsignalen durch eine analoge oder digitale Filterung getrennt werden. Füllt das Nutzsignal den gesamten Kanal bis zu den Bandgrenzen aus, so erfordert der geringe Abstand zweier benachbarter Signale zur Trennung sehr steile Filter, die einen hohen Aufwand des Systems erfordern. Das Abschalten von mehreren Trägern an den Bandgrenzen zur Vergrößerung des Abstandes kann nur bedingt Abhilfe schaffen.

In beiden Fällen tritt eine Integration aller Frequenzanteile auf (Leckeffekt der FFT), die zu einer deutlichen Zunahme der Störungen im jeweiligen OFDM-Empfänger führen kann.

Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen durch eine saubere Träger- und Kanaltrennung anzugeben. Diese Aufgabe wird durch das in Anspruch 1 bzw. 6 angegebene Verfahren gelöst.

Der Erfindung liegt die weitere Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens anzugeben. Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 8 bzw. 11 angegebene Schaltungsanordnung gelöst.

Zur Verbesserung der Trennung der N Träger kann die Selektivität der FFT-Filterung durch eine Vergrößerung der Anzahl der FFT-Komponenten erhöht werden. Dieses führt jedoch normalerweise zu einer unerwünscht starken Zunahme des Rechenaufwandes, da die Länge der FFT und damit die Anzahl der berechneten Koeffizienten ein ganzzahliges Vielfaches von N betragen muß. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des im Rahmen der FFT verwendeten Zeitfensters ist es jedoch möglich, auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten. Die Implementation des Fensters kann hierbei, je nach Sendesignal und Sendebedingungen, adaptiv an die Sendeverhältnisse mit Hilfe einer Schätzung der Kanaleigenschaften angepaßt werden.

Die Kanaltrennung kann verbessert werden, wenn im Empfänger vor der FFT das Signal überabgetastet wird. Die erfindungsgemäße Wahl der Überabtastung ermöglicht dann, auch hier auf die Berechnung eines Teils der Koeffizienten zu verzichten und eine relativ einfache analoge Filterung zu verwenden, da dann keine steile Filterung mehr nötig ist.

Bei der Träger- und Kanaltrennung kann die FFT nach dem Prinzip der Reduktion im Frequenzbereich (decimation-in-frequency) durchgeführt werden, so daß nur die erste Stufe einer FFT mit allen Koeffizienten berechnet werden muß. Die weiter verwendeten Koeffizienten werden dann entsprechend einer normalen N-FFT

berechnet. Damit ist die Aufwandserhöhung für ein großes N minimal.

Im Prinzip besteht das erfindungsgemäße Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, wobei für die Übertragung die digitalen Signale in Symbole der Dauer T_g zerlegt werden und jedem Symbol ein Guard-Intervall zugewiesen wird und diese auf N verschiedene Trägerfrequenzen verteilt werden und wobei das übertragene Signal in einem Empfänger einer Fouriertransformation unterzogen wird, darin, daß für die Symbole neue Symbole der Dauer $M_1 \cdot T_g$ erzeugt werden und bei der Fouriertransformation nach einer Abtastung des Signals eine Multiplikation mit Zeitfenstern der Breite $M_1 \cdot T_g$ erfolgt, wobei die Länge der Fouriertransformation $M_1 \cdot N$ beträgt und durch die Fouriertransformation jeder M_1 -te Koeffizient berechnet wird.

Vorzugsweise werden die Symbole um die Dauer T_v verlängert und damit verlängerte Symbole erzeugt, Abtastwerte vor und hinter den verlängerten Symbolen zu-Null gesetzt, um damit die neuen Symbole zu erzeugen, und die Zeitfenster jeweils aus einem Nyquist-Fenster und einem zu-Null gesetzten Bereich gebildet.

Vorteilhaft wird die Anzahl der zu-Null gesetzten Abtastwerte so gewählt, daß die Dauer der neuen Symbole $2 \cdot T_g$ beträgt, das Nyquist-Fenster die Nyquistpunkte bei $T_g / 2$ und $3T_g / 2$ aufweist, die Länge der Fouriertransformation $2 \cdot N$ beträgt und nur jeder 2-te Koeffizient berechnet wird.

Vorteilhaft werden die neuen Symbole aus den Symbolen und einem Teil der Guard-Intervalle gebildet.

Besonders vorteilhaft wird in dem Empfänger die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle berechnet, um eine Längen Anpassung der zur Bildung der neuen Symbole benutzten Teile der Guard-Intervalle zu ermöglichen.

Im Prinzip besteht das erfindungsgemäße Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von

digitalen Signalen, bei denen eine Übertragung in mehreren Kanälen erfolgt, wobei je Kanal N Trägerfrequenzen verwendet werden und in einem Empfänger einer der Kanäle selektiert wird, eine Abtastung des Signals und eine Fouriertransformation erfolgt, darin, daß bei der Abtastung $M_2 \cdot N$ Abtastwerte erzeugt werden, die Länge der Fouriertransformation $M_2 \cdot N$ beträgt und durch die Fouriertransformation die mittleren N Koeffizienten berechnet werden.

Vorteilhaft werden die Merkmale von Anspruch 6 mit den Merkmalen von einem der Ansprüche 1 bis 5 kombiniert.

Im Prinzip besteht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit zugeführt werden, in der eine Abtastung der Signale und eine Umwandlung in I/Q-Signale erfolgt, eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit erfolgt und in einem Prozessor die Trennung der N Trägerfrequenzen durchgeführt wird, darin, daß im Prozessor neue Symbole der Dauer $M_1 \cdot T_s$ erzeugt werden, eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite $M_1 \cdot T_s$ erfolgt, eine Fouriertransformation der Länge $M_1 \cdot N$ durchgeführt wird und nur der $1/M_1$ -Teil der Koeffizienten berechnet wird.

Vorteilhaft wird zur Erzeugung der neuen Symbole die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit bestimmt.

Vorteilhaft besteht die erste Einheit aus einem A/D-Wandler und einem digitalen Filter.

Im Prinzip besteht die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung für ein Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen nach Anspruch 6, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit zugeführt werden, in der eine Abtastung der Signale und eine Umwandlung in I/Q-Signale erfolgt, eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale mit

Hilfe einer Frequenzmischungseinheit erfolgt und in einem Prozessor die Trennung der N Trägerfrequenzen durchgeführt wird, darin, daß durch eine Synchronisierungseinheit die Abtastrate derart gewählt wird, daß bei der Abtastung $M_2 \cdot N$ Abtastwerte erzeugt werden, im Prozessor eine FFT der Länge $M_2 \cdot N$ berechnet wird und nur der $1/M_2$ -Teil der Koeffizienten berechnet wird.

Vorzugsweise sind M_1 und M_2 natürliche Zahlen, insbesondere Potenzen von 2.

Zeichnungen

Anhand der Zeichnungen werden Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben. Diese zeigen in:

- Fig. 1 ein OFDM-Signal (A), ein Rechteck-Zeitfenster (B),
 sowie das zugehörige Koeffizienten-Spektrum (C),
- Fig. 2 das der $2N$ -FFT aus Fig. 1 entsprechende
 Filterverhalten,
- Fig. 3 ein OFDM-Signal (A), ein Nyquist-Zeitfenster (B),
 sowie das zugehörige Koeffizienten-Spektrum (C),
- Fig. 4 das der $2N$ -FFT entsprechende Filterverhalten für
 verschiedene roll-off-Faktoren,
- Fig. 5 ein Vergleich der Störungen bei einer herkömmlichen
 (A) und der erfindungsgemäßen FFT (B),
- Fig. 6 die Nachbarkanalfilterung mit leichter analoger
 Filterung (oben), Überabtastung und Bildung einer $2N$ -
 FFT (unten),
- Fig. 7 die Vereinfachung einer $4N$ -FFT zu einer N -FFT mit
 einem 4-radix Algorithmus,
- Fig. 8 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen
 Schaltungsanordnung,

Ausführungs-Beispiel

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Verbesserung der Trägertrennung dargestellt. Das Spektrum des OFDM-Signals weist im Zeitbereich einen scheinbar rauschartigen Verlauf auf, wie in Fig. 1A dargestellt. Es wird nun eine Erhöhung der Dauer eines Symbols auf das doppelte (oder 2^n -fache) im Sender z.B. durch Verlängerung des Guard-Intervalls durchgeführt. Aus diesem Signal werden $2N$ Abtastwerte $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{2N-1}, b_{2N}$ abgetastet, wobei die Abtastwerte entsprechend Fig. 1B mit einem Zeitfenster multipliziert werden, um die einzelnen Symbole voneinander zu trennen. Das rechteckige Zeitfenster hat hierbei eine Länge von $2 \cdot T_s$. Innerhalb dieser Zeit berechnet eine FFT der Länge $2N$ aus den Abtastwerten die $2N$ komplexen Koeffizienten $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{2N-1}, a_{2N}$. Diese Koeffizienten enthalten die im Sender modulierte Information jedes einzelnen Trägers, wobei, wie in Fig. 1C gezeigt, von den $2N$ Koeffizienten nur die Koeffizienten $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots, a_{2N-1}$ relevante Information enthalten. Die restlichen Koeffizienten werden nicht benötigt, so daß ihre Berechnung nicht erfolgen muß.

Das Filterverhalten der $2N$ -FFT verdeutlicht Fig. 2. Eine Trägerinformation beinhaltet nur jeder zweite Koeffizient. Das bedeutet für die FFT, wie schon zu Fig. 1 beschrieben, daß nur diese Hälfte der Koeffizienten berechnet werden muß, die andere Hälfte muß dagegen nicht berücksichtigt werden. Für jeden Träger hat das Filterverhalten die Form einer $\sin(x)/(2Nx)$ Funktion. Jede Funktion entspricht damit einem Filter, das einen der N Träger ohne Verluste durchläßt, die anderen dagegen aus dem Signal herausfiltert. Das absolute Maximum einer jeden Funktion stimmt hierbei mit den Nulldurchgängen der übrigen Filter überein. Die Maxima der Filter weisen einen reduzierten Abstand von $f_{tr}/2$ auf und die Anzahl der Filter ist doppelt so groß wie bei einer N -FFT. Insbesondere sind die Durchlaßbereiche der jeweiligen Filter nur halb so breit wie bei einer N -FFT. Dieses bewirkt eine Verbesserung des Störabstandes, da:

- falls weißes Rauschen vorhanden ist, nur die Hälfte der Rauschleistung pro Träger im Vergleich zum herkömmlichen Fall

integriert wird. Dieses führt zu einer Verbesserung des Störabstands um 3dB.

- und falls ein harmonischer Störer im Bereich eines Filtermaximum auftritt, bei dem kein Träger vorhanden ist, dieser Störanteil vom Nutzsignal sogar vollständig ausgefiltert wird.

Die erfindungsgemäße Verwendung einer Nyquist-Fensterung zur Trägerentrennung ist in Fig. 3 dargestellt. Das vorhandene Symbol der Dauer T_S wird um die Zeit T_V verlängert, wobei T_V beliebig variiert werden kann und ein Teil des Guard-Intervalls T_G ist ($T_V < T_G$) mit z.B. T_G/T_S 1:4. Insbesondere kann T_V , falls die Übertragung nur kurze Echos aufweist, entsprechend lang gewählt werden. Die Abtastwerte $b_{r+1}, b_{r+2}, \dots, b_{2N-r}$ werden durch Abtastung des Nutzsymbols T_S und der Symbolverlängerung T_V gewonnen. Die Werte b_1, b_2, \dots, b_r und b_{2N-r}, \dots, b_{2N} sind gleich Null. Das so erhaltene neue Symbol S_n setzt sich folgendermaßen zusammen:

Neues Symbol = Nullen + altes Symbol + Symbolverlängerung + Nullen.

Damit ergibt sich entsprechend Fig. 3A für die Dauer des neuen Symbols:

$$(T_S - T_V)/2 + T_S + T_V + (T_S - T_V)/2 = 2T_S$$

Somit kann ein Nyquistfenster benutzt werden, das symmetrisch um die Symbolmitte ist. Die Fensterung kann z.B. als Kosinus roll-off ausgelegt werden, andere Nyquist-Fenster (Dreieck, Trapez u.a.m.) sind jedoch ebenso anwendbar. Die "Nyquistzeit", in Analogie zur Nyquistfrequenz, liegt bei $1/2T_S$ und $3/2T_S$, wie in Fig. 3B dargestellt. Alle $2N$ Abtastwerte werden mit einer $2N$ -FFT transformiert, um $2N$ Koeffizienten zu erhalten. Auch hier muß jedoch, wie in Fig. 3C gezeigt, nur eine Hälfte der Koeffizienten berechnet werden.

Fig. 4 zeigt das Filterverhalten der $2N$ -FFT mit Nyquist-Fensterung. Auch hier treten doppelt so viele Filter wie bei einer N -FFT auf, wobei die Trägerinformation in den Koeffizienten $a_1, a_3, a_5, a_7, \dots, a_{2N}$ enthalten ist. Da die

restlichen Koeffizienten nicht berücksichtigt werden müssen, sind diese und die entsprechenden Filter gerader Ordnung zur Erhöhung der Übersichtlichkeit in der Figur nicht dargestellt. Durch die Nyquist-Fensterung (Fig. 4C), d.h. kosinus roll-off gleich 1, klingen die Überschwinger der Filterfunktion viel früher ab als bei einem kosinus roll-off gleich 0.5 (Fig. 4B), oder einem Rechteckfenster (Fig. 4A), entsprechend kosinus roll-off gleich 0.

Die Nyquistfensterung hat damit folgende Vorteile:

- Verbesserung des Störabstandes beim Auftreten von weißem Rauschen bis zu 1.2dB, abhängig vom gewählten roll-off Faktor.
- Verringerung des Störabstandes, falls ein diskreter Störer im Nutzband vorhanden ist, wobei die betroffenen Träger weniger gestört und weniger Nachbarträger beeinflusst werden.
- Verbesserung des Störabstandes falls eine Frequenzabweichung oder Phasenrauschen vorhanden ist.

Die Verbesserung des Störabstandes am Beispiel des Auftretens von Frequenzabweichungen kann Fig. 5 entnommen werden. In dieser werden für eine 16QAM bei der Verwendung von 2048 Trägern Vektordiagramme für eine herkömmliche N-FFT (A) und eine erfindungsgemäße 2N-FFT mit Nyquist-Fensterung und roll-off=1 (B) gegenübergestellt. Jeder Punkt entspricht hierbei in den Diagrammen einem Träger. Für die herkömmliche N-FFT ist eine deutliche Streuung der Träger um die jeweiligen Sollwerte zu erkennen, die für das erfindungsgemäße Verfahren merklich abnimmt.

Die erfindungsgemäße Nachbarkanalfilterung wird in Fig. 6 erläutert. Der Nutzsignal-Kanal IS und die Nachbar-Kanäle NC grenzen hierbei unmittelbar aneinander. Das OFDM-Nutzsignal wird im Basisbandbereich mit einem anti-Aliasing-Filter, einer relativ einfachen analogen Filterung, selektiert und dann abgetastet. Die gestrichelte Linie F kennzeichnet hierbei die Frequenzcharakteristik der Filterung. Das Signal wird anschließend mit einer einfachen Überabtastung A/D umgesetzt. Von dem überabgetasteten Signal wird eine FFT der Länge 2N gebildet. Die N Koeffizienten 1 bis N/2 bzw. N/2+1 bis 2N

enthalten keine Nutzinformation, sondern die Störung der Nachbarkanäle. Diese Koeffizienten brauchen daher nicht berechnet zu werden, sodaß die Komplexität der 2N-FFT wesentlich vereinfacht wird. Dagegen enthalten die N Koeffizienten $N/2+1$ bis $N3/2$ die Nutzinformation und werden für die weitere Verarbeitung benutzt. Für ein OFDM Nachbarsignal mit einer dem Nutzsignal entsprechenden Leistung ist diese Filterung durch Überabtastung und Verdopplung der FFT ausreichend. Will man jedoch die Auswirkung des Leckeffekts verringern und damit die Filterwirkung erhöhen, kann die Kanalfilterung mit der oben beschriebenen Fensterung kombiniert werden. Die Fensterung erfordert dann eine nochmalige Verdopplung der Anzahl der FFT-Koeffizienten, jedoch ohne nochmalige Überabtastung, sodaß sich 4N Abtastwerte ergeben. Der Aufwand der 4N-FFT gegenüber einer N-FFT ist hierbei jedoch nur geringfügig höher, da nur ein Viertel der Koeffizienten zu Ende berechnet werden müssen.

So ist z.B. bei Verwendung eines 4-Radix-Algorithmus zur Berechnung der 4N-FFT nach den ersten komplexen Multiplikationen der Aufwand gleich dem einer N-FFT. Dieses ist in Fig. 7 für ein einfaches Beispiel mit $N=16$ dargestellt. Die ursprüngliche Fouriertransformation mit $N=16$ wird hierbei in der ersten Stufe der FFT in eine Linearkombination von vier Fouriertransformationen mit jeweils $N=4$ (offene Kreise) aufgeteilt, um durch eine Herabsetzung der Multiplikationsoperationen den nötigen Zeitaufwand zu reduzieren. Nur eine dieser $N=4$ Fouriertransformationen muß dann berechnet werden, wie dieses durch den gestrichelten Bereich angedeutet ist, da nur jeder vierte Koeffizient benötigt wird.

Ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung zeigt Fig. 8. Nach einer Konversion des übertragenen OFDM-Signals in das Basisband werden die digitalen Signale einer ersten Einheit IQ zugeführt, in der eine Abtastung der übertragenen OFDM-Signale mit Hilfe eines A/D-Wandlers erfolgt. Zusätzlich enthält diese Einheit bei dem Verfahren zur Verbesserung der Trägertrennung einen digitalen Filter (FIR-Filter) zur Erzeugung von I/Q-Signalen. Bei Durchführung des Verfahrens zur Verbesserung der Kanaltrennung kann durch eine

Überabtastung des OFDM-Signals im A/D-Wandler, die $M_2 \cdot N$ Abtastwerte ergibt, auf die FIR-Filterung verzichtet werden. Mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit M erfolgt dann eine Frequenzanpassung der I/Q-Signale, bevor in einem Prozessor FFT die Trennung der Trägerfrequenzen durchgeführt wird. Hierfür wird eine Schnelle Fouriertransformation durchgeführt, wobei zur Verbesserung der Trägertrennung eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite $M_1 \cdot T_S$ und eine Symbolverlängerung auf eine Symbollänge von $M_1 \cdot T_S$ erfolgt. Die Länge der FFT wird entsprechend der Symbollänge und/oder der eventuell durchgeführten Überabtastung angepaßt und beträgt damit $M_1 \cdot N$, $M_2 \cdot N$ bzw. bei der gleichzeitigen Durchführung beider Verfahren $M_1 \cdot M_2 \cdot N$. Entsprechend wird im Prozessor nur der $1/M_1$ -, $1/M_2$ - bzw. der $1/(M_1 \cdot M_2)$ -te Teil der Koeffizienten berechnet. Zur Erzeugung der neuen Symbole wird dem Prozessor FFT die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit GI mitgeteilt, die aus dem empfangenen OFDM-Signal in bekannter Weise die Länge der Echos und der Guard-Intervalle ermittelt. Die Synchronisierung der Konversionseinheit IQ und des Prozessors FFT erfolgt durch eine Synchronisierungseinheit TS.

Die Erfindung kann z.B. in Decodern für DAB oder digital terrestrisches Fernsehen verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, wobei für die Übertragung die digitalen Signale in Symbole der Dauer T_S zerlegt werden und jedem Symbol ein Guard-Intervall zugewiesen wird und diese auf N verschiedene Trägerfrequenzen verteilt werden und wobei das übertragene Signal in einem Empfänger einer Fouriertransformation unterzogen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Symbole neue Symbole der Dauer $M_1 \cdot T_S$ erzeugt werden und bei der Fouriertransformation nach einer Abtastung des Signals eine Multiplikation mit Zeitfenstern der Breite $M_1 \cdot T_S$ erfolgt, wobei die Länge der Fouriertransformation $M_1 \cdot N$ beträgt und durch die Fouriertransformation jeder M_1 -te Koeffizient berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- die Symbole um die Dauer T_V verlängert werden und damit verlängerte Symbole erzeugt werden,
- Abtastwerte vor und hinter den verlängerten Symbolen zu-Null gesetzt werden und damit die neuen Symbole erzeugt werden,
- die Zeitfenster jeweils aus einem Nyquist-Fenster und einem zu-Null gesetzten Bereich gebildet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- die Anzahl der zu-Null gesetzten Abtastwerte so gewählt wird, daß die Dauer der neuen Symbole jeweils $2 \cdot T_S$ beträgt,
- das Nyquist-Fenster die Nyquistpunkte bei $T_S/2$ und $3T_S/2$ aufweist,
- die Länge der Fouriertransformation $2 \cdot N$ beträgt
- und nur jeder 2-te Koeffizient berechnet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die neuen Symbole aus den Symbolen und einem Teil der Guard-Intervalle gebildet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß in dem Empfänger die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle berechnet wird, um eine Längenanpassung der zur

Bildung der neuen Symbole benutzten Teile der Guard-Intervalle zu ermöglichen.

6. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei denen eine Übertragung in mehreren Kanälen erfolgt, wobei je Kanal N Trägerfrequenzen verwendet werden und in einem Empfänger einer der Kanäle selektiert wird, eine Abtastung des Signals und eine Fouriertransformation erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Abtastung $M_2 \cdot N$ Abtastwerte erzeugt werden, die Länge der Fouriertransformation $M_2 \cdot N$ beträgt und durch die Fouriertransformation die mittleren N Koeffizienten berechnet werden.

7. Verfahren zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen, bei dem die Merkmale von Anspruch 6 mit den Merkmalen von einem der Ansprüche 1 bis 5 kombiniert werden.

8. Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen für ein Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit (IQ) zur Abtastung und Umwandlung in I/Q-Signale zugeführt werden, eine Frequenzanpassung mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit (M) erfolgt und in einem Prozessor (FFT) die Trennung der N Trägerfrequenzen durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Prozessor (FFT) neue Symbole der Dauer $M_1 \cdot T_s$ erzeugt werden, eine Fensterung mit Zeitfenstern der Breite $M_1 \cdot T_s$ erfolgt, eine Fouriertransformation der Länge $M_1 \cdot N$ durchgeführt wird und nur jeder M_1 -te Koeffizient berechnet wird.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung der neuen Symbole die aktuell maximal nutzbare Länge der Guard-Intervalle von einer Detektoreinheit (GI) bestimmt wird.

10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Einheit (IQ) aus einem A/D-Wandler und einem digitalen Filter besteht.

11. Schaltungsanordnung zur Verbesserung des Empfangsverhaltens bei der Übertragung von digitalen Signalen für ein Verfahren nach Anspruch 6, bei der die übertragenen Signale einer ersten Einheit (IQ) zur Abtastung und Umwandlung in I/Q-Signale zugeführt werden, eine Frequenzanpassung mit Hilfe einer Frequenzmischungseinheit (M) erfolgt und in einem Prozessor (FFT) die Trennung der N Trägerfrequenzen durchgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine Synchronisierungseinheit (TS) die Abtastrate derart gewählt wird, daß bei der Abtastung $M_2 \cdot N$ Abtastwerte erzeugt werden, im Prozessor (FFT) eine FFT der Länge $M_2 \cdot N$ durchgeführt wird und nur die mittleren N Koeffizienten berechnet werden.

1/8

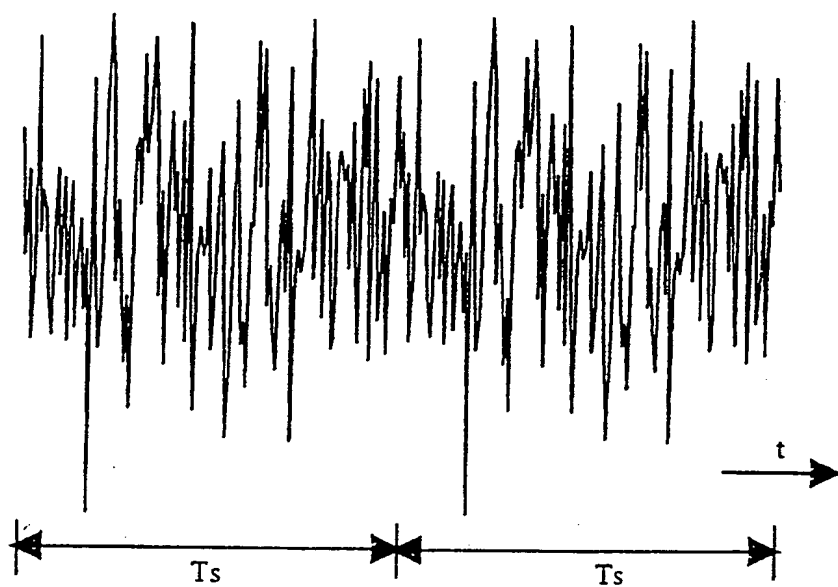


Fig. 1A

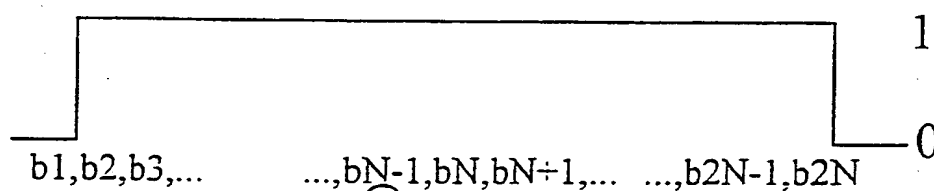


Fig. 1B

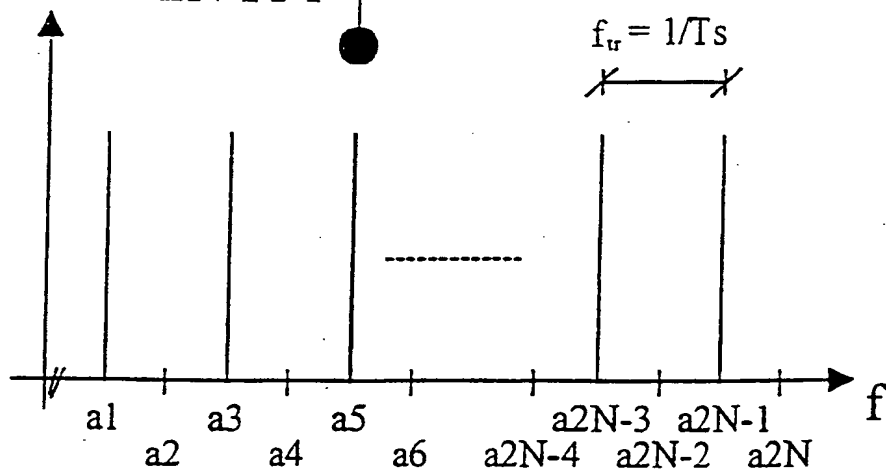


Fig. 1C

2/8

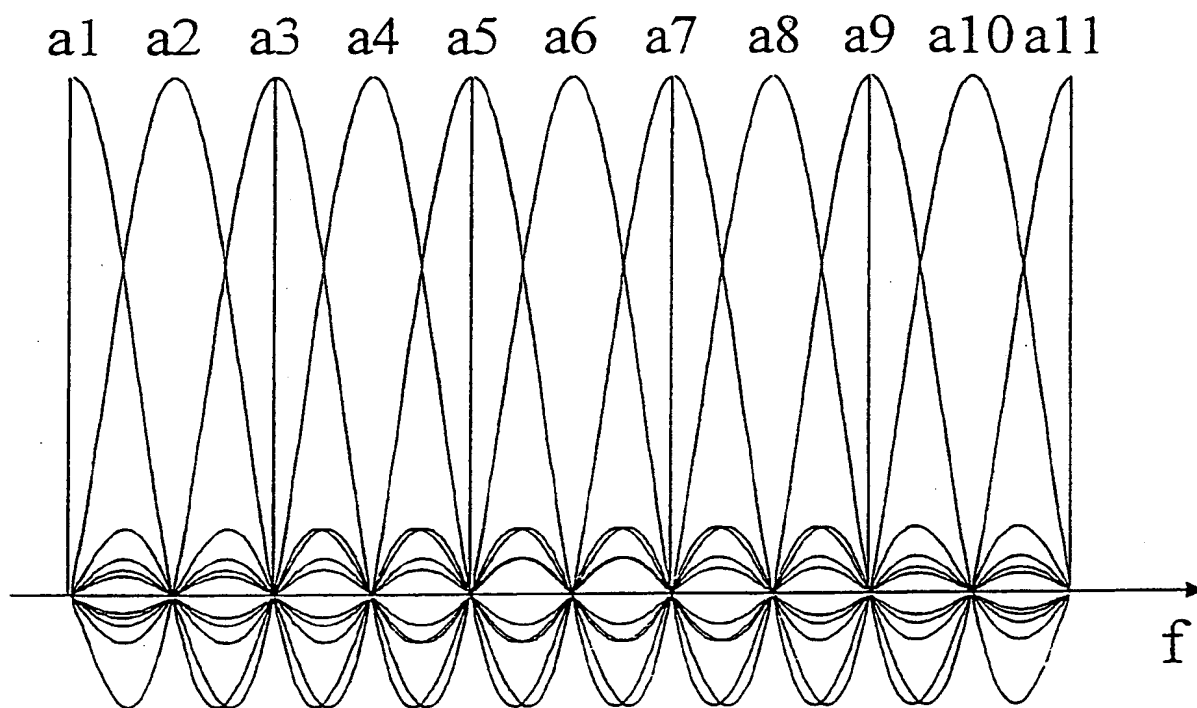


Fig. 2

3/8

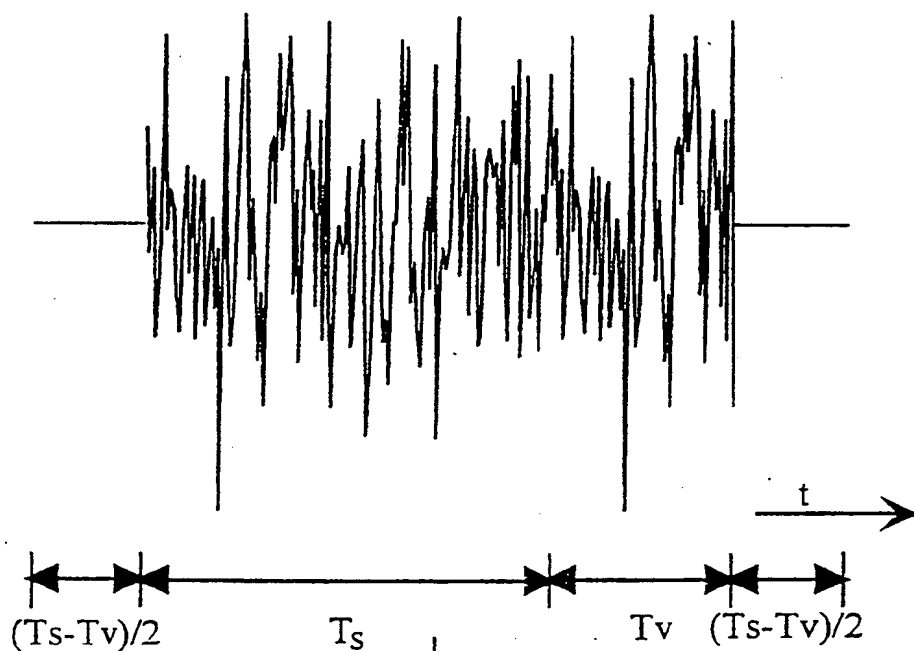


Fig. 3A

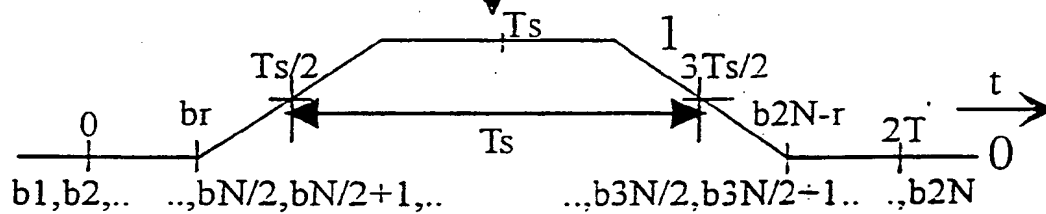


Fig. 3B

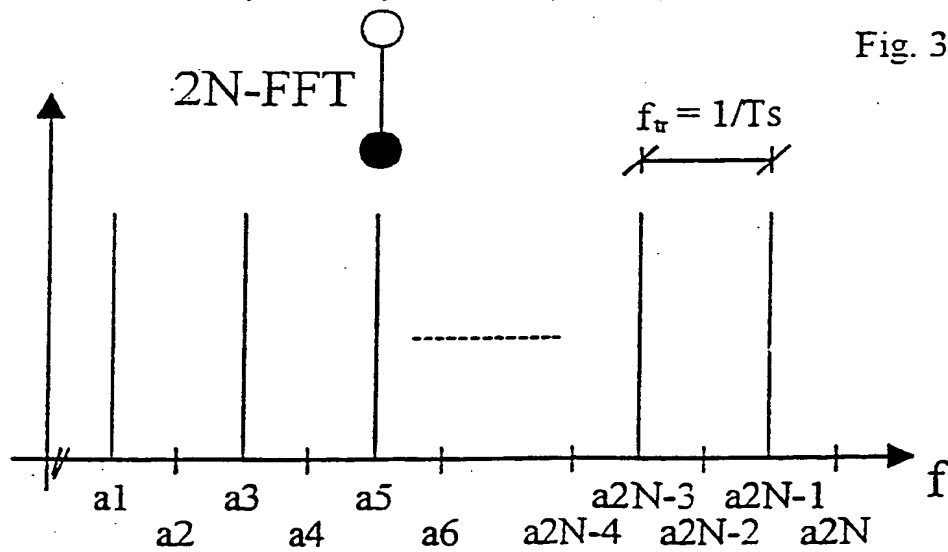


Fig. 3C

4/8

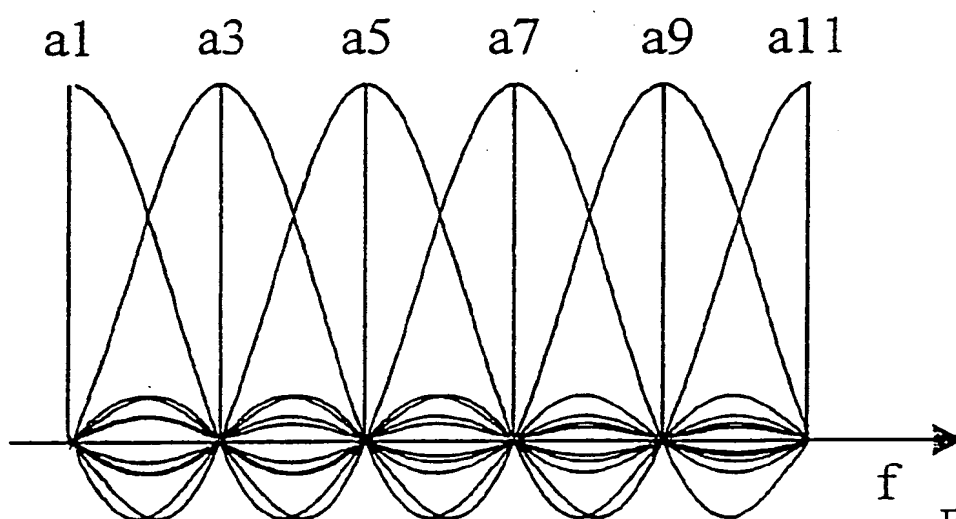


Fig. 4A

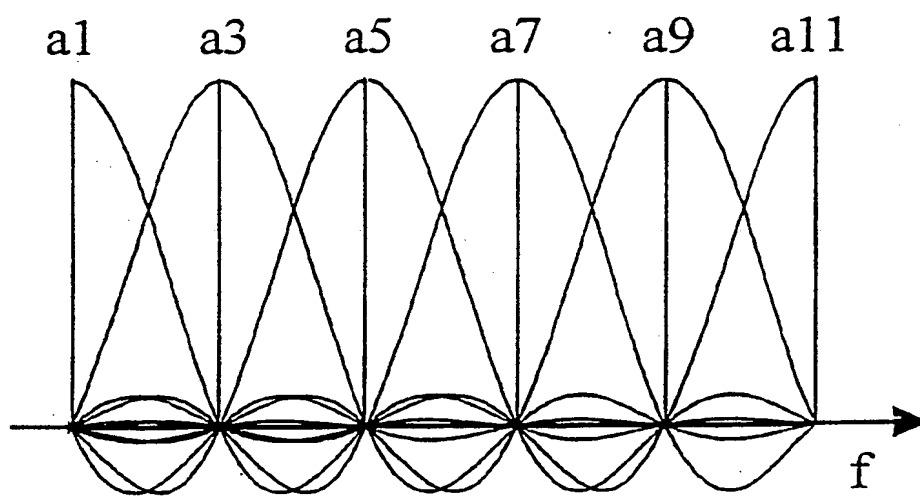


Fig. 4B

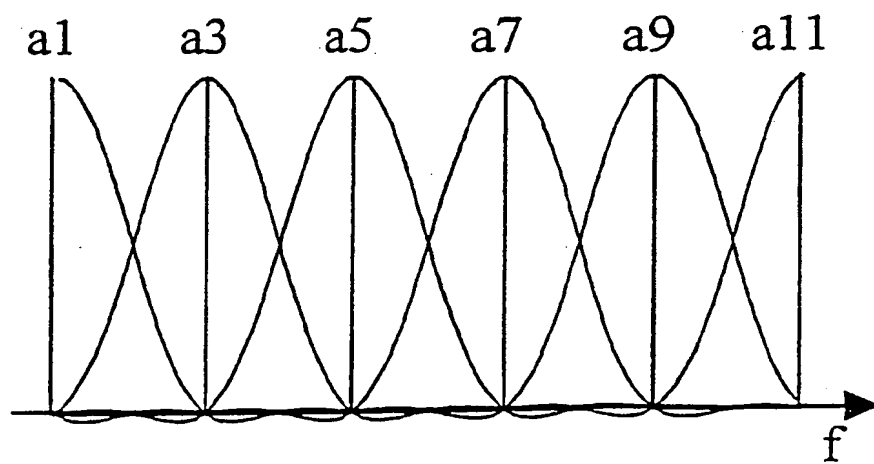


Fig. 4C

5/8

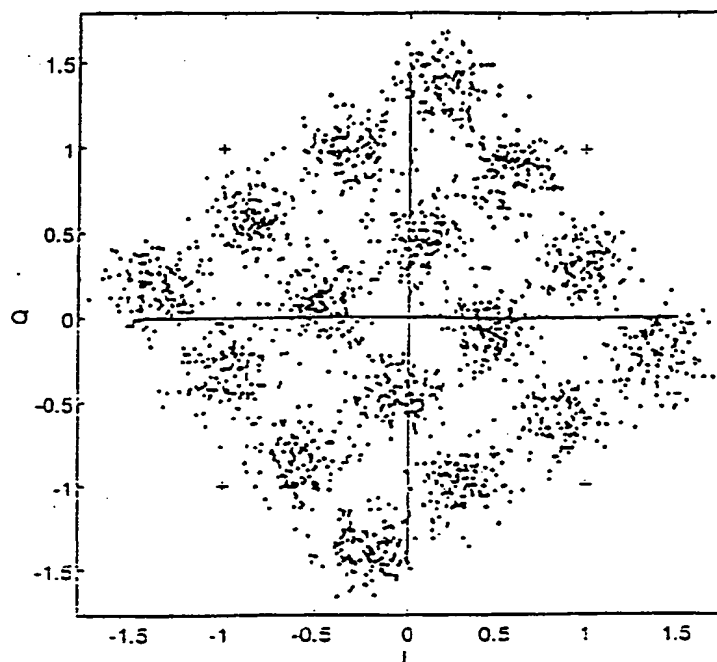


Fig. 5A

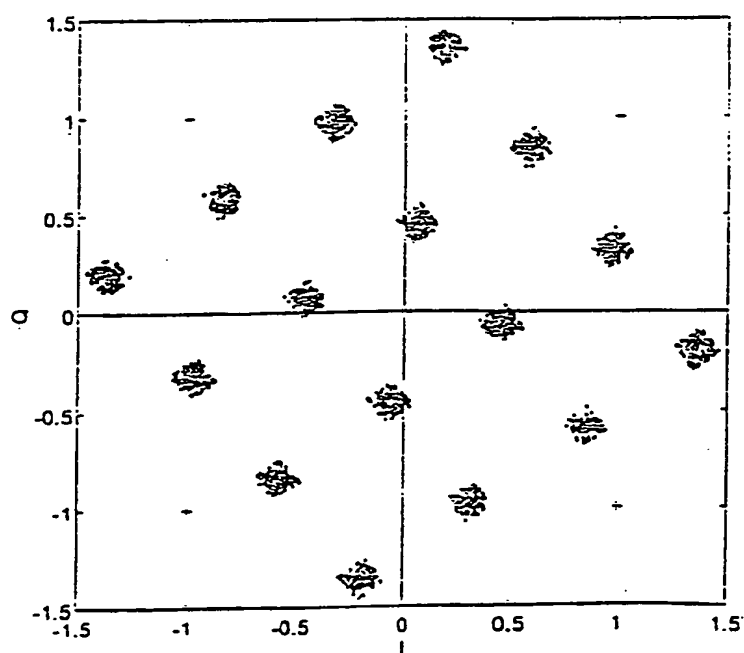


Fig. 5B

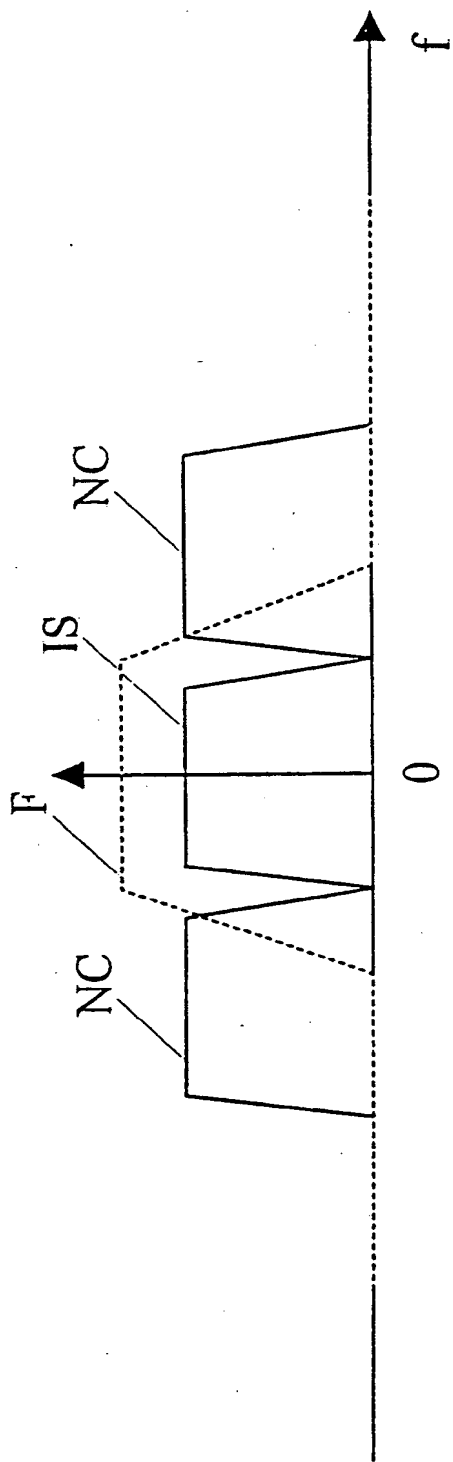


Fig. 6A

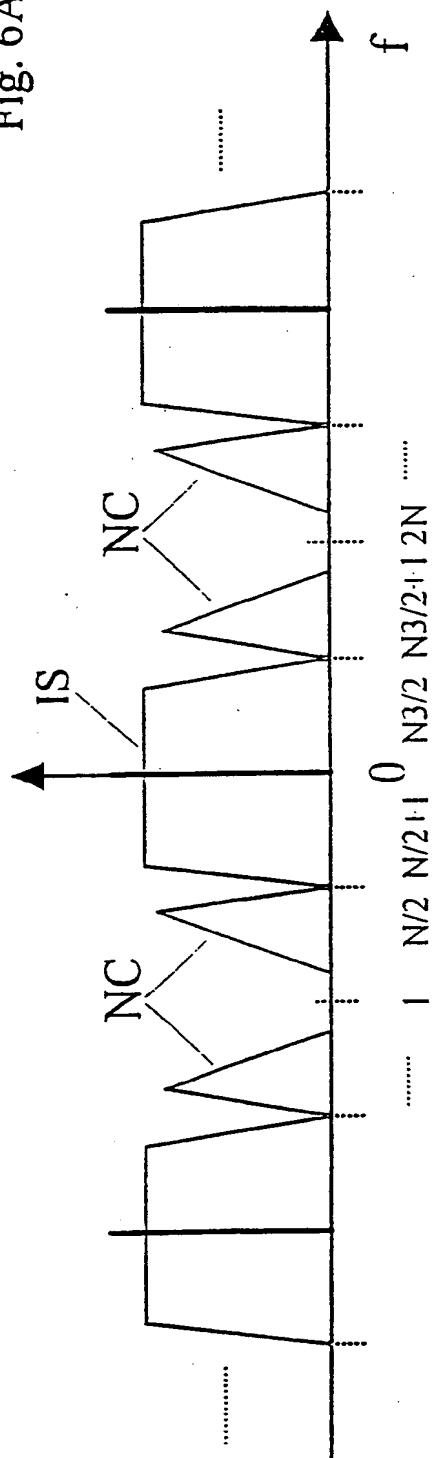


Fig. 6B

7/8

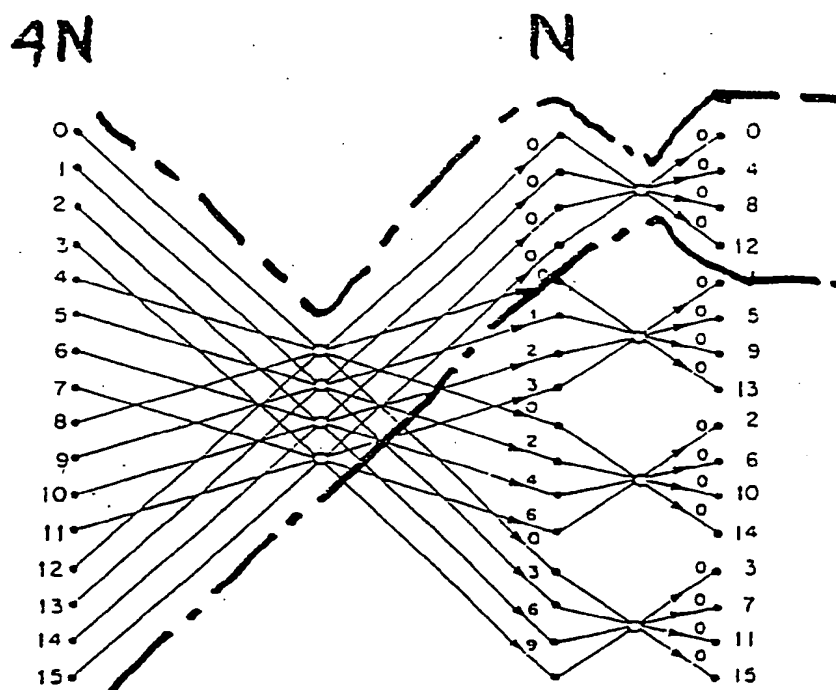


Fig. 7

8 / 8

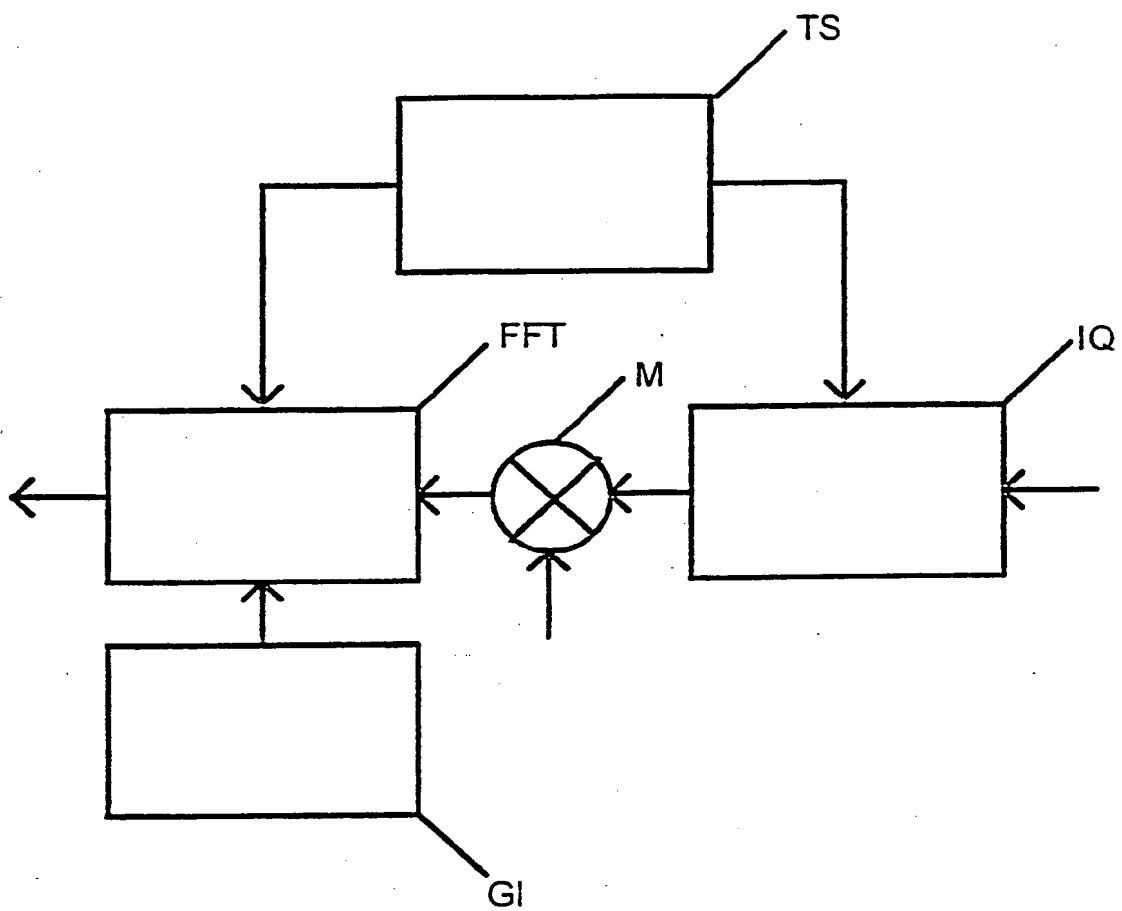


Fig.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 96/02209

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H04L27/26 H04L5/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H04L H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|---|-----------------------|
| X | EP,A,0 441 732 (ETAT FRANCAIS) 14 August 1991 see column 6, line 7 | 1-4,8,10 |
| A | see figure 4 | 5,9 |
| X | EP,A,0 613 267 (PHILIPS) 31 August 1994 see column 6, line 1 - line 57 see figures 5,6 | 1,4,8,10 |
| A | see claims 1-3 | 5,9 |
| | --- -/-- | |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 October 1996

Date of mailing of the international search report

25.10.96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Ghigliotti, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 96/02209

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATION TECHNOLOGY, vol. 19, no. 5, 1 October 1971, pages 628-634, XP000568061 WEINSTEIN S. B. ET AL.: "DATA TRANSMISSION BY FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING USING THE DISCRETE FOURIER TRANSFORM" see page 629, left-hand column, line 13 - line 30 --- | 6,11 |
| A | EP,A,0 562 868 (WI LAN) 29 September 1993 see page 7, line 50 - page 8, line 5 see figure 6C ----- | 1,7,8 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 96/02209

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP-A-0441732 | 14-08-91 | FR-A- 2658018 | 09-08-91 |
| | | DE-D- 69109323 | 08-06-95 |
| | | DE-T- 69109323 | 04-01-96 |
| | | US-A- 5357502 | 18-10-94 |
| EP-A-0613267 | 31-08-94 | CA-A- 2115118 | 09-08-94 |
| | | JP-A- 6252878 | 09-09-94 |
| | | US-A- 5416767 | 16-05-95 |
| EP-A-0562868 | 29-09-93 | CA-A- 2064975 | 28-09-93 |
| | | US-A- 5282222 | 25-01-94 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 96/02209

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 H04L27/26 H04L5/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 H04L H04N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| X | EP,A,0 441 732 (ETAT FRANCAIS) 14.August 1991 siehe Spalte 6, Zeile 7 | 1-4,8,10 |
| A | siehe Abbildung 4 | 5,9 |
| X | EP,A,0 613 267 (PHILIPS) 31.August 1994 siehe Spalte 6, Zeile 1 - Zeile 57 | 1,4,8,10 |
| A | siehe Abbildungen 5,6 siehe Ansprüche 1-3 | 5,9 |
| | --- | |
| | -/-- | |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. Oktober 1996

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25.10.96

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ghigliotti, L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 96/02209

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X | IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATION TECHNOLOGY, Bd. 19, Nr. 5, 1.Oktober 1971, Seiten 628-634, XP000568061 WEINSTEIN S. B. ET AL.: "DATA TRANSMISSION BY FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING USING THE DISCRETE FOURIER TRANSFORM" siehe Seite 629, linke Spalte, Zeile 13 - Zeile 30 --- | 6,11 |
| A | EP,A,0 562 868 (WI LAN) 29.September 1993 siehe Seite 7, Zeile 50 - Seite 8, Zeile 5 siehe Abbildung 6C ----- | 1,7,8 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 96/02209

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|--|--|
| EP-A-0441732 | 14-08-91 | FR-A- 2658018 DE-D- 69109323 DE-T- 69109323 US-A- 5357502 | 09-08-91 08-06-95 04-01-96 18-10-94 |
| EP-A-0613267 | 31-08-94 | CA-A- 2115118 JP-A- 6252878 US-A- 5416767 | 09-08-94 09-09-94 16-05-95 |
| EP-A-0562868 | 29-09-93 | CA-A- 2064975 US-A- 5282222 | 28-09-93 25-01-94 |